

論文審査の結果の要旨

氏名 大小田結貴

本論文は、太陽質量 ($1 M_{\odot}$) 以下の低質量原始星の最初期形成過程の描像を明らかにすることを旨とし、電波干渉計 ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) の観測に基づき、低質量原始星の物理的・化学的構造を論じたものである。

本論文は10章から成る。第1章で研究の背景を紹介し、第2章で観測手法の解説を行っている。続く3章から9章までが、本論文の主要部分となる。このうち、3章から5章までが物理的な構造を、6章から9章までが化学的構造を議論している。

物理的構造に関して、まず3章において、若い原始星における円盤構造の形成について議論している。IRAS15398-3359は、誕生してから1000年程度である非常に若い原始星であるが、本研究により回転する円盤構造 (原始星円盤) が形成されていることが明らかになった。回転運動から求められる原始星質量は、 $0.007 M_{\odot}$ と極めて小さい。本天体の質量が非常に小さいということは、本天体が誕生して間もない進化段階にあることを示す。このような初期の天体からも、円盤構造が検出されたということは、惑星系の形成が、原始星の誕生とともに始まっていることを本論文では提示している。

続く4章において、原始星進化に伴うアウトフローの方向変化を議論している。IRAS 15398-3359において、2000 auスケールで、衝撃波領域を選択的にトレースする分子の分布を調べたところ、既存のアウトフロー方向と90度程度異なる方向にアーク状の構造を示すことがわかった。ただし、観測された分子輝線の線幅は狭いものであり、衝撃波が通過してから時間が経過していることを示す。すなわち、アーク状の構造は過去に形成された構造である。さらに広域 (~ 10000 au) を調べたところ、また別の方向に広がるアウトフローを検出した。このように、アウトフローが、過去に遡ると、方向を変化させていることが明らかになった。アウトフローの方向変化が、原始星に落ち込むガスの角運動量の変化に起因するという考えを、本論文では提示している。

物理構造の議論の最後として第5章では、温度分布が示す降着衝撃波の兆候について述べている。若い低質量原始星天体B335において、原始星周り10 auスケールで、分子分布の相違性と複数の輝線を利用して、温度を見積もった。その結果、温度は原始星から離れるについて一度下がるが、その外側半径では逆に上昇する様子を示した。この温度分布は原始星からの放射のみでは説明できない。外側の温度上昇の原因の候補として、降着するガスが引き起こす衝撃波加熱を本論文では提案している。

続く6章から8章では、化学構造を議論している。まず、6章において主成分分析の観測データの適用方法について論じた後、7章において具体的にIRAS15398-3359において、分子輝線データと連続波の2次元分布に主成分分析を適用し、化学組成分布の特徴を先

入観なく抽出できることを示した。

続いて8章において、低質量原始星天体L483とB335に、周波数方向（速度方向）を含む3次元データに主成分分析を適用し、各々の分子の空間的な分布だけでなく速度構造も同時に抽出することで有機分子分布を分類できることを示した。円盤・エンベロープは複雑な速度構造をもつため、3次元分布に対する主成分分析が非常に有効であることを論じている。

最後に9章において、原始星近傍における有機分子分布を論じている。有機分子を豊富に含む原始星天体L483とB335の3次元データに対する主成分分析の結果は、酸素を含む分子と窒素を含む分子の系統的な違いを示し、窒素を含む分子は、酸素を含む分子に比べると、よりコンパクトな分布を示す傾向を示した。しかし、HCOOHは例外で、酸素を含む分子にもかかわらず窒素を含む分子と同様にコンパクトな分布をもつことが示された。この分布の違いは、分子の昇華温度の違いでは説明することができず、有機分子の生成が複雑な要素をもっていることを示している。

最後に10章で、論文全体の結論をまとめ、さらに将来の研究の方向性を議論している。

このように、本論文は、ALMAによる様々な分子輝線観測を用い、低質量原始星の最初期形成過程が物理的にも化学的にも単純なものではなく、変化を伴う複雑な過程であることを観測的に示したものであり、その学術的価値は高い。本論文の一部は、すでに4編の査読論文として刊行されており、研究発表の実績も十分に高い。

なお、本論文の研究は他の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となってデータ解析、分析及び検証を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。